Journal of Agricultural Machinery
Vol. 8, No. 2, Fall - Winter 2018, p. 295-308

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۸، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۷، ص ۳۰۸-۲۹۵

تحلیل ویژگی‌های بافتی تصاویر میکروسکوپی پودر عصاره برگ کنگر فرنگی تولید شده از خشک‌کن خلأیی پاششی

سمانه صادق‌زاده نماور[۱]- جعفر امیری پریان[۲]*- رضا امیری چایجان[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۲۶
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۷/۲۳

چکیده

پردازش تصاویر دیجیتال به‌عنوان روشی جدید برای ارزیابی کمی و کیفی خصوصیات بافتی پودر مواد غذایی و دارویی از اهمیت بالایی برخوردار است. در این پژوهش از خشک‌کن خلأیی پاششی با ریز ذره‌ساز آلتراسونیک به‌منظور تولید پودر خشک از عصاره برگ کنگر فرنگی فرموله شده با ماده افزودنی لاکتوز استفاده شد. روند خشک‌کردن در یک محفظه خشک‌کن خلأ و در دمایی پایین‌تر از دمای خشک‌کن‌های پاششی معمول انجام شد. هدف از این مطالعه، بررسی اثر شرایط عملی بهینه (۳٪، ۲۰kPa، ۷۵°C)، نامطلوب (۲٪، ۴۰kPa، ۵۵°C) و دو شرایط (۲٪، ۳۰kPa، ۶۵°C) و (۲/۵٪، ۳۰kPa، ۶۵°C) خشک‌کن خلأیی پاششی روی ویژگی‌های بافتی مستقل از جهت و اثر زاویه در جهت‌های چهارگانه (°۰، °۴۵، °۹۰ و °۱۳۵) روی ویژگی‌های بافتی جهت‌دار پودر عصاره برگ کنگر فرنگی می‌باشد. برای تشخیص بافت، تصاویر میکروسکوپی (SEM) به دو صورت تک ذره و ذرات توده‌ای تهیه شدند. ده ویژگی بافتی تصاویر با استفاده از ماتریس هم وقوعی سطوح خاکستری به‌منظور ارزیابی کیفی بافت پودر عصاره استخراج گردید. نتایج حاصل از تجزیه‌وتحلیل بافت نشان داد که پودرهای حاصل از شرایط خشک‌کردن در دمای بالا (۷۵ درجه سلسیوس) و فشار خلأ پایین (۲۰ کیلو پاسکال) و غلظت محلول (۲ گرم بر ۱۰۰ میلی‌لیتر) دارای تعداد بیشتری از ذرات با بافت صاف و یکنواخت بودند. درنتیجه در این شرایط، پارامترهای انرژی، همبستگی، همگنی و glcmstd بیشترین مقدار و مقادیر کنتراست، آنتروپی، rangefilt و stdfilt کمترین مقدار را دارا بودند. دو ویژگی بافتی جهت‌دار (کنتراست و همبستگی) نیز با توجه به ماهیت بافت ذرات در جهت‌های اندازه‌گیری مختلف اختلاف معنی‌داری را نشان دادند.

واژه‌های کلیدی: برگ کنگر فرنگی، خشک‌کن خلأیی پاششی، پودر عصاره، پردازش تصویر، ویژگی‌های بافت، ماتریس هم وقوعی سطح خاکستری

مقدمه

در طول چند سال اخیر توجه رو به رشدی به گیاه کنگر فرنگی به‌عنوان یک گیاه قدیمی با خصوصیات جدید در غذاهای کاربردی، مشاهده‌شده است. کنگر فرنگی گونه‌ای متعلق به تیره *Asteraceae*، که قبل از میلاد مسیح در قرن چهارم به‌عنوان غذا و دارو شناخته‌شده است. این گیاه موردپسند مصریان باستان، یونانی‌ها و رومیان، واقع‌شده بود که آن را هم به‌عنوان غذا و هم به‌عنوان دارو (به خاطر اثرات مفید آن در برابر بیماری‌های صفراوی- کبدی و به‌عنوان کمک گوارش) استفاده می‌کردند (Marzi *et al*., 1975; Sonnante *et al*., 2002). کنگر فرنگی نوعی ماده غذایی از گروه سبزی‌ها است که سرشار از مواد مغذی مهم مانند ویتامین A، ویتامین C، پتاسیم و فیبر است (Lattanzioa, 2009).

در بخش دارویی، عصاره خشک در تهیه قرص، کپسول، حبه، پماد و به‌عنوان محصولات واسطه استفاده می‌شود. عصاره خشک را می‌توان با حذف آب از یک محلول عصاره تغلیظ شده از مواد گیاهی (برگ، ریشه، دانه‌ها، کل گیاه، گل‌آذین، میوه‌ها و غیره)، به‌صورت پودر خشک آماده کرد.

اخیراً استفاده از خشک‌کن پاششی برای خشک‌کردن عصاره‌های مواد غذایی و گیاهی و همچنین برای کپسوله کردن برخی از محصولات مشتق شده از گیاهان موردتوجه واقع‌شده است. خشک‌کن پاششی به‌طور گسترده‌ای در آماده‌سازی پودر خشک از عصاره گیاهان دارویی، پالپ میوه، روغن‌های گیاهی و غیره استفاده می‌شود (Woo *et al*., 2010). یکی از روش‌های تازه توسعه‌یافته خشک‌کن پاششی، روش خلأ مافوق صوت است، که نقاط قوت خشک‌کن پاششی را با ترکیب نازل مافوق صوت و محفظه خلأ افزایش می‌دهد

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی دکتری، استادیار و دانشیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: Amiriparian@gmail.com)
DOI: 10.22067/jam.v8i2.63321

(Semyonov *et al*., 2011). انتظار می‌رود که خشک‌کن خلأیی پاششی با ریز ذره ساز آلتراسونیک بتواند با زمان باقی مانده کوتاه از قطرات یکنواخت تولیدشده توسط ریز ذره ساز آلتراسونیک، همچنین از طریق دمای پایین و جو خلأ در محفظه خشک‌کن بازده بالایی را نتیجه دهد (Freitas *et al*., 2004; Sadykhov and Kish, 1997).

امروزه، پردازش تصویر برای تصاویر مواد غذایی حاصل از سیستم‌های مختلف میکروسکوپی، به‌منظور دستیابی به داده‌های عددی در مورد مورفولوژی، ساختار و میکرو ساختار مواد غذایی تحلیل‌شده، به‌کاربرده می‌شود (Moghimi *et al*., 2015). به همین دلیل، روش‌های میکروسکوپی و پردازش تصویر می‌تواند به‌عنوان ابزاری مناسب، ارزیابی کمی و کیفی میکرو ساختار مواد غذایی، ایجاد همبستگی عددی بین داده‌های میکرو ساختار به‌دست‌آمده از تصاویر و خصوصیات بافتی پودر مواد غذایی را ممکن سازد (Aguilera, 2007).

بافت، الگوی اطلاعات یا نظم ساختاری در یک تصویر می‌باشد و در آنالیز ویژگی‌ها و شرح تصویر استفاده می‌شود. در تحلیل تصویر، بافت نشان‌دهنده آرایش مکانی سطوح خاکستری پیکسل‌های نواحی مختلف است و یکی از ویژگی‌های مهمی است که در تشخیص اشیاء یا مناطق موردنظر در یک تصویر کاربرد دارد. بافت تصویر با یک روش آماری، به نام روش ماتریس هم وقوعی سطح خاکستری (GLCM) تجزیه‌وتحلیل می‌شود. در این روش، ویژگی‌های مختلف بافت به‌واسطه ماتریسی که از اطلاعات موجود در پیکسل‌ها (به‌عنوان‌مثال مؤلفه‌های اصلی یک تصویر) مشتق شده، استخراج می‌شود. این ویژگی‌های بافتی برای مشخص کردن بافت محصول نیز می‌تواند باشد. مزایای استفاده از این روش که به یک‌روند در تجزیه‌وتحلیل تصویر برای ارزیابی کیفیت مواد غذایی اشاره می‌کند، در بررسی‌های پیشرفته توسط محققان زیادی مورد بحث قرار گرفت (Zheng *et al*., 2006; Yu *et al*., 2012; Tournier *et al*., 2012; Kamruzzaman *et al*., 2012). استفاده از ماتریس هم‌وقوعی سطح خاکستری (GLCM) برای استخراج ویژگی‌های بافت‌های آماری مرتبه دوم برای برآورد حرکت تصاویر توسط Mohanaiah و همکاران (۲۰۱۳) ارائه‌شده بود. در این تحقیق، چهار ویژگی شامل: گشتاور لحظه‌ای مرتبه دوم، همبستگی، گشتاور لحظه‌ای معکوس و آنتروپی با استفاده از نرم‌افزار Xilinx FPGA محاسبه شد و نتایج نشان داد که ویژگی‌های بافتی دقت تشخیص بالا و زمان محاسبات کمتری دارند، از این‌رو به نحو احسن برای برنامه‌های کاربردی تشخیص الگوی بلادرنگ استفاده گردید. میر میرعرب رضی و همکاران با بررسی اثر چربی (۵/۲، ۵، ۵/۷ و ۱۰ درصد)، درصد شیره انگور (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ درصد) و فرآیند تولید (انجماد و سرد کردن)، ریز ساختار بستنی را با استفاده از پردازش پارامترهای بافت تصویر مورد ارزیابی قرار دادند. آن‌ها نشان دادند که افزودن صمغ، تأثیر معنی‌داری بر ریزساختار بستنی داشته و باعث کاهش قطر معادل حباب، تخلخل، آنتروپی و افزایش کرویت حباب می‌شود (Mirarab *et al*., 2015). در تحقیقی خواص رنگ و بافت اسنک‌های حبه‌ای، با روشی مبتنی بر تصویربرداری در شرایط مختلف سرخ کردن مورد ارزیابی قرار گرفت. در این تحقیق اثر درجه حرارت سرخ کردن (۱۵۰، ۱۷۰، و ۱۹۰ درجه سیلسیوس) و زمان سرخ کردن (۰/۵، ۱/۵، ۲/۵، ۳/۵ و ۴/۵ دقیقه) بر خواص رنگی و بافتی تصویر (L^*، a^* و b^*، بعد فراکتال، همبستگی، آنتروپی، کنتراست و همگنی) بررسی شد (Mohammadi Moghaddam *et al*., 2014). همچنین در تحقیقی دیگر، کپسوله کردن عصاره وانیل با استفاده از نشاسته‌های سوکسینیک انیدرید با به‌کار بردن تجزیه وتحلیل بافت تصویر و آرایه آشکارساز گاز مورد مطالعه قرار گرفت. کپسوله کردن عصاره وانیل با کپسول و نشاسته اصلاح شده ۱۰۰ Hi-Cap با دو روش خشک کردن پاششی و انجمادی انجام شد. راندمان کپسوله کردن با مرتبط کردن بافت نشاسته و حفظ عطر محصول بررسی شد. تجزیه وتحلیل بافت با استفاده از استخراج ویژگی ماتریس هم‌وقوعی سطح خاکستری (GLCM) انجام گردید (Rodríguez *et al*., 2013). محققان زیادی نیز اثر شرایط خشک‌کن پاششی را روی خصوصیات شکل (مورفولوژی) پودر سس ماهی (Chindapan *et al*., 2010) و پودر شیر (Nikolova *et al*., 2015) با استفاده از یک بررسی جامع از تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مورد مطالعه قراردادند.

با توجه به بررسی تحقیقات انجام‌شده، مشخص گردید که تاکنون پژوهشی در زمینه تشخیص بافت پودرهای عصاره برگ کنگرفرنگی بر اساس تکنیک پردازش تصویر روی ذرات توده‌ای و تک ذره انجام‌نشده است. لذا هدف از این مطالعه، طراحی الگوریتمی مبتنی بر روش پردازش بافت تصاویر میکروسکوپی ذرات توده‌ای و تک ذره پودر عصاره برگ کنگر فرنگی تولیدشده با خشک‌کن خلأیی پاششی می‌باشد تا در جهت شناسایی و تشخیص تغییر بافت ذرات با توجه به تغییر شرایط خشک‌کن گامی مؤثر برداشته شود.

مواد و روش‌ها

مواد

برگ‌های تازه کنگر فرنگی از باغ گیاهان دارویی همدان خریداری شد. متانول و لاکتوز تک آبه از شرکت سیگما آلدریچ، آلمان خریداری گردید. آب مقطر نیز به‌عنوان حلال در کل آزمایش‌ها مورد استفاده قرار گرفت.

روش تجربی

آماده‌سازی محلول عصاره آبی از برگ کنگر فرنگی

برگ های تازه کنگر فرنگی پس از شستشو با آب در سایه خشک گردید و با یک آسیاب آزمایشگاهی (Artisan M.D 5000, Iran) پودر شدند. برگ کنگر فرنگی پودر شده، با آب مقطر در حال جوش از طریق تکان‌دهنده[1] با سرعت ۹۰۰ دور بر دقیقه به مدت سه ساعت، عصاره‌گیری انجام گرفت. سپس عصاره به‌دست‌آمده سانتریفیوژ شده و توسط کاغذ صافی واتمن NO.4 فیلتر شد. این روش در دو تکرار انجام شد و ترکیب فیلتر شده در یک دستگاه تبخیر روتاری (IKA-RV 10, Germany) تحت فشار خلأ به‌منظور خشک شدن تبخیر گردید. سپس غلظت موردنظر محلول با اضافه کردن آب مقطر به عصاره حاصل شد. غلظت عصاره توسط رفراکتومتر (Kruss Optronic DR 101-60, Germany) با داشتن محدوده متغیر صفر-۶۰ درصد و رزولوشن ۰/۱ تعیین شد. پس‌ازآن لاکتوز تک آبه به‌عنوان یک افزودنی با عصاره برگ کنگر فرنگی با نسبت وزنی مشخص (۲:۱) فرموله شد و سپس به منظور تشکیل یک محلول همگن آبی تکان داده شد. درنهایت این مخلوط با استفاده از خشک‌کن خلأیی پاششی با ریز ذره‌ساز التراسونیک ساخته‌شده در آزمایشگاه پس از برداشت (دانشگاه بوعلی سینا، همدان) خشک و پودر شد.

فرآیند خشک‌کردن خشک‌کن پاششی خلأیی و ریز ذره‌ساز آلتراسونیک

در تحقیق حاضر، روش جدید خشک کن پاششی که از یک خشک‌کن خلأیی پاششی با ریز ذره‌ساز التراسونیک استفاده می‌کند گزارش شده است. اجزای اصلی دستگاه، سیستم تغذیه عصاره برگ کنگر فرنگی، شامل یک پمپ پریستالتیک، یک سیستم اتمیزه‌کننده‌ی محلول با طراحی خاص نازل آلتراسونیک که می‌تواند در یک خلأ پیوسته با پراکنده کردن محلول به‌طور یکنواخت در محفظه خشک‌کن خلأ عمل کند سرعت تغذیه محلول در ۰/۵-۱ میلی‌لیتر بر دقیقه حفظ شد. این نوع خشک کن شامل یک محفظه استوانه‌ای خلأ (با قطر ۱۲ سانتی‌متر و ارتفاع ۸۰ سانتی‌متر) و یک گرم‌کن الکتریکی که دمای محفظه خشک‌کن را کنترل می‌کند است. گرم‌کن سیم‌پیچی در اطراف محفظه استوانه پیچیده شده و به‌منظور گرم کردن محفظه خلأ استفاده‌شده است. شرایط خلأ نیز توسط پمپ خلأ مهیا شد. قطرات اتمیزه شده توسط شیلنگ سیلیکونی از نازل آلتراسونیک به درون محفظه خلأ، هدایت شد. درنهایت، یک سیستم کنترل محصول (سیکلون) و کاغذ فیلتر قبل از پمپ خلأ استفاده شده است. در نهایت پودر خشک‌شده نیز از فیلتر جمع‌آوری شد. متغیرهای مورد مطالعه: دمای ورودی در ۵۵، ۶۵ و ۷۵ درجه سلسیوس، فشار خلأ در ۲۰، ۳۰ و ۴۰ کیلو پاسکال و غلظت محلول عصاره ۲، ۲/۵ و ۳ گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب بودند. از مجموع شرایط فوق، چهار شرایط بهینه (A_4)، نامطلوب (A_1) و دو شرایط A_2 و A_3 مطابق جدول ۱ به‌منظور بررسی اثر تغییرات بافت با توجه به تغییر دما، فشار و غلظت محلول انتخاب شد. تعیین و شناسایی بافت پودرهای به‌دست‌آمده با استفاده از روش ماتریس هم‌وقوعی سطح خاکستری (GLCM) مشخص شد. این ویژگی با تجزیه‌وتحلیل تصاویر میکروسکوپی به‌دست‌آمده توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) انجام شد، پردازش و تجزیه‌وتحلیل از طریق جعبه‌ابزار پردازش تصویر نرم‌افزار MATLAB صورت گرفت (Meraz-Torres *et al*., 2011; Quintanilla-Carvajal *et al*., 2011).

استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) به‌منظور مطالعه ویژگی‌های بافتی پودر

میکروسکوپ الکترونی به‌طور گسترده‌ای برای ارزیابی ریزساختار مواد غذایی و محصولات بیولوژیکی استفاده می‌شود. در این تحقیق، به‌منظور ارزیابی ویژگی‌های بافتی پودر عصاره برگ کنگر فرنگی از میکروسکوپ الکترونی روبشی استفاده‌شده است. ازاین‌رو، چند میلی‌گرم از نمونه پودر عصاره برگ کنگر فرنگی روی یک نگه‌دارنده آلومینیومی SEM، که متکی به نوار کربن رسانا بود، قرار داده شد. بدین طریق تصاویر مربوط به نمونه‌ها در بزرگنمایی‌های مختلف به‌دست آمد.

بافت تصویر و تجزیه‌وتحلیل آماری بافت با استفاده از روش ماتریس هم‌وقوعی سطح خاکستری (GLCM)

برخی از محصولات پودری ازلحاظ مورفولوژی مشابه هستند اما بافت متفاوتی را نشان می‌دهند. در این بخش، از ویژگی‌های بافتی تصاویر توده‌ای و تک ذره پودر عصاره برای ارزیابی شرایط کاری خشک‌کن خلأیی پاششی استفاده شد. استخراج ویژگی‌ها، با استفاده از ماتریس هم‌وقوعی سطح خاکستری انجام گرفت. به‌طورکلی، یک تصویر میکروسکوپی، ماتریسی با ابعاد Ny ستون، Nx سطر و درایه‌های آن Ng که می‌تواند سطح خاکستری متفاوت داشته باشد. با این فرض، اطلاعات بافتی تصویر را می‌توان به‌وسیله یک ماتریس فراوانی نسبی P(i, j) نشان داد. در این ماتریس مقدار درایه (i, j) بیانگر تعداد همسایگی‌های اتفاق افتاده در جهت‌های چهارگانه (صفر، ۴۵، ۹۰ و ۱۳۵ درجه) در تصویر بین سطوح خاکستری (i, j) است (Golpour *et al*., 2015). زاویه‌ها، جهت ارتباط بین دو پیکسل با سطح خاکستری یکسان که می‌تواند افقی، عمودی یا مورب باشد را

1- Stirrer

تعیین می‌کند. به‌منظور نرمال کردن ماتریس هم وقوعی باید درایه‌های آن را مطابق رابطه (۱) بر یک عدد ثابت (C) تقسیم نمود.

$$p(i,j) = P(i,j)/C \qquad (۱)$$

جدول ۱- چهار شرایط عملی خشک‌کن خلأیی پاششی

Table 1- Four process conditions of vacuum spray drying

شرایط کاری خشک‌کن پاششی خلأیی **Process condition of vacuum spry drying**	دمای داخلی **Inlet temperature (°C)**	فشار خلأ **Vacuum pressure (kPa)**	غلظت محلول عصاره با افزودنی **Concentration of extractsolution with excipient ($g.100ml^{-1}$)**
A_1	55	40	2
A_2	65	30	2.5
A_3	65	30	2
A_4	75	20	3

مقدار C برای یک تصویر با ابعاد مستطیلی N_X و N_Y نیز از رابطه (۲) به‌دست می‌آید.

$$C = \left\{2N_X\left(N_y-1\right)+2N_y\left(N_X-1\right)+4\left(N_X-1\right)\left(N_y-1\right)\right\} \qquad (۲)$$

جدول ۲ روابط ریاضی ویژگی‌های بافتی را نشان می‌دهد. در این جدول، شاخص‌های i و j عدد ردیف و ستون در ماتریس GLCM هستند، p(i, j) مقدار نرمال‌شده عنصر (i, j) ماتریس و μ و σ به‌ترتیب میانگین و انحراف استاندارد روی i و j است.

جدول ۲- روابط ریاضی ویژگی‌های بافتی

Table 2- Mathematical equation of textural features (Albregtsen, 2008)

ویژگی‌های بافت **Textural features**	فرمول **Formula**
آنتروپی Entropy	$\sum_{i=1}^{N_g-1}\sum_{j=1}^{N_g-1} p(i,j)\ln p(i,j)$
انرژی Energy	$\sum_{i=1}^{N_g-1}\sum_{j=1}^{N_g-1}\{p(i,j)\}^2$
کنتراست Contrast	$\sum_{\lvert i-j\rvert=0}^{N_g-1}(i-j)^2\sum_{i=0}^{N_g-1}\sum_{j=0}^{N_g-1} p(i,j)$
همگنی Homogeneity	$\sum_{i=1}^{N_g-1}\sum_{j=1}^{N_g-1}\frac{1}{1+(i-j)^2}p(i,j)$
میانگین Mean (μ_i)	$\sum_{i=0}^{N_g-1} i\sum_{j=0}^{N_g-1} p(i,j)$
واریانس Variance (σ_i^2)	$\sum_{i=0}^{N_g-1}(i-\mu_i)^2\sum_{j=0}^{N_g-1} p(i,j)$
همبستگی Correlation	$\frac{\sum_{i=0}^{N_g-1}\sum_{j=0}^{N_g-1} ijp(i,j)-(\mu_i\mu_j)}{\sigma_i\sigma_j}$

به‌منظور مطالعه بافت نمونه عصاره خشک به‌دست‌آمده، از ماتریس هم وقوعی سطح خاکستری GLCM، پنج ویژگی مختلف استخراج می‌شود. نخست، گشتاور زاویه‌ای مرتبه دوم (ASM)، که به‌عنوان یکنواختی یا انرژی شناخته‌شده است. این ویژگی، مجموع مربعات ورودی در GLCM است. گشتاور زاویه ای مرتبه دوم، همگن بودن تصویر را اندازه‌گیری می‌کند. زمانی‌که تصویر، دارای یکنواختی خوب و پیکسل‌های مشابه باشد، گشتاور زاویه‌ای مرتبه دوم بالا است. به‌طورکلی تصویر با سطح صاف (به‌عنوان‌مثال چند انتقال خاکستری) مقدار بالاتری از ASM را نسبت به تصویر نمونه با زبری (تصویر ناهمگن) خواهد داشت (Singh *et al*., 2010; Williams *et al*.,

1997). دوم، پارامتر کنتراست و تمایز (CT)، که نشان‌دهنده میزان تغییرات محلی داده شده توسط تفاوت در مقدار خاکستری در تصویر است. مقدار CT سطوح صاف، کمتر از سطوح ناهموار خواهد بود. سوم، مقدار همبستگی (CR) است، که مقیاسی از وابستگی خطی شدت رنگ خاکستری در تصویر، بسته به جهت اندازه‌گیری (زاویه‌های مختلف) است. یک تصویر ممکن است مقدار CR کم در یک جهت و مقدار CR بالاتر در جهت دیگر داشته باشد. چهارم، مقدار گشتاور معکوس (IDM) مشابه ASM، اما با استفاده از معادله‌ای متفاوت، کمیت همگنی تصویر را تعیین می‌کند، به‌طوری‌که مقدار وزنی IDM معکوس وزن کنتراست است. درواقع گشتاور معکوس (IDM) همگنی محلی است. بنابراین زمانی که سطح خاکستری محلی یکنواخت و گشتاور معکوس بالا است، مقدار آن زیاد است (Singh *et al*., 2010). درنهایت، پارامتر آنتروپی (ET)، مقیاسی است که به‌طور معکوس به مرتبه شدت رنگ خاکستری در تصویر مربوط می‌شود: یک سطح صاف مقدار ET کمتری نسبت به سطح زبر نشان می‌دهد (Arzate-Vázquez *et al*., 2012; Zheng *et al*., 2006). آنتروپی اطلاعات تصویر را اندازه‌گیری می‌کند و نشان‌دهنده پیچیدگی توزیع بافت است (Parker and Terzidis, 2011). چندین تابع آنالیز بافت نیز در جعبه‌ابزار پردازش تصویر نرم‌افزار متلب موجود است که تصویر را با استفاده از روش‌های آماری استاندارد فیلتر می‌کند. توابع rangefilt و stdfilt به‌ترتیب طیف محلی و انحراف استاندارد یک تصویر را محاسبه می‌کنند. تابع entropyfilt نیز یک اندازه‌گیری آماری تصادفی است که آنتروپی محلی یک تصویر سیاه و سفید را محاسبه می‌کند. همه توابع به یک روش مشابه عمل می‌کنند، به‌طوری‌که ابتدا یک همسایگی در اطراف پیکسل مورد نظر تعریف کرده، سپس ویژگی‌های آماری آن ناحیه را محاسبه می‌کنند و از آن مقدار به‌عنوان ارزش پیکسل در تصویر خروجی استفاده می‌کنند. تابع stdfilt انحراف استاندارد تمام مقادیر موجود در همسایگی و تابع entropyfilt آنتروپی همسایگی را محاسبه می‌کند و آن مقدار را به پیکسل خروجی اختصاص می‌دهند. این روش‌های آماری می‌توانند با توجه به اطلاعاتی در مورد تنوع محلی مقدار شدت پیکسل‌ها در یک تصویر، بافت تصویر را مشخص کنند. به‌عنوان‌مثال، در مناطقی با بافت صاف، بازه مقدار پیکسل‌ها در همسایگی اطراف یک پیکسل، مقدار کوچکی دارد و در نواحی با بافت زبر و خشن، محدوده بازه بزرگ‌تر خواهد بود. به‌طور مشابه، محاسبه انحراف استاندارد پیکسل‌ها در یک همسایگی می‌تواند درجه تنوع مقادیر پیکسل در آن منطقه را نشان دهد (Kumar *et al*., 2008). بنابراین ویژگی‌های بافتی جهت‌دار و مستقل از جهت اندازه‌گیری پودر عصاره در چهار شرایط عملی انتخابی خشک‌کن خلأیی پاششی با استفاده از روش ماتریس هم‌وقوعی سطح خاکستری مقایسه شدند.

تحلیل آماری

تجزیه داده‌ها با نرم‌افزار آماری SAS 9.2 با استفاده از رویه GLM صورت گرفت. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن با سطح احتمال خطای آلفا برابر با ۰/۰۵ انجام شد. برای ویژگی‌های بافتی مستقل از جهت از مدل آماری طرح کاملاً تصادفی استفاده گردید. ویژگی‌های بافتی جهت‌دار مربوط به کنتراست، همبستگی، انرژی و همگنی در چارچوب طرح کاملاً تصادفی به‌صورت فاکتوریل تجزیه آماری شد که در آن چهار شرایط عملی خشک‌کن به‌عنوان یک فاکتور و زاویه در جهت‌های چهارگانه به‌عنوان فاکتور دیگر درنظر گرفته شد. مدل آماری مورد استفاده به شرح زیر بود:

$$y_{ij} = \mu + A_i + B_j + AB_{ij} + e_{ij} \qquad (۳)$$

اجزای مدل عبارتند از: μ میانگین برای ویژگی مورد نظر، A اثر شرایط خشک‌کن خلأیی پاششی، B اثر زاویه، AB برهمکنش اثر شرایط خشک‌کن و زاویه و e اثر خطای باقی‌مانده.

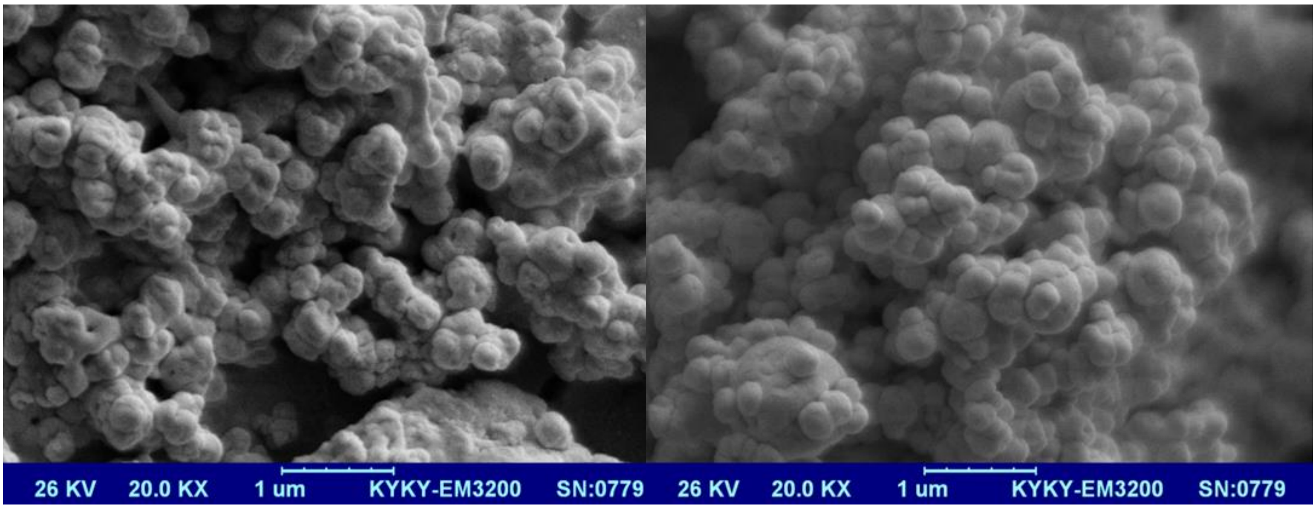
فاکتورهای مستقل برای متغیرهای وابسته ویژگی‌های بافتی مستقل از جهت، چهار شرایط عملی خشک‌کن بود درحالی‌که برای ویژگی‌های بافتی جهت‌دار فاکتورهای مستقل، زاویه و شرایط خشک‌کن و اثر برهمکنش زاویه و شرایط خشک‌کن بوده است.

نتایج و بحث

تجزیه‌وتحلیل بافت تصویر: ویژگی‌های بافتی پودر

شکل ۱ الف و ب دو نمونه از تصاویر SEM را در شرایط A_4 و A_1 به تصویر کشیده است، به‌طوری‌که در شرایط بهینه A_4، نمونه ذرات با سطح صاف و زبری کمتر و شرایط نامطلوب A_1 سطح بسیار ناهموار و زبر را نشان می‌دهد. به‌منظور تأیید این تفاوت‌های عینی، تجزیه‌وتحلیل بافت روی ذرات پودر عصاره تولیدشده از خشک‌کن خلأیی پاششی با استفاده از روش GLCM انجام شد. پس از آنالیز تصاویر SEM نمونه‌های تک ذره و ذرات توده‌ای پودر عصاره، تفاوت بافت آشکاری برای ذرات متعلق به شرایط گوناگون به‌دست آمد.

جدول ۳ اثر چهار شرایط عملی خشک‌کن خلأیی پاششی و جهت اندازه‌گیری را روی ویژگی‌های بافتی جهت‌دار تک ذره تصاویر پودر عصاره نشان می‌دهد. با توجه به جدول، پارامتر کنتراست (CT) بافت تک ذره در شرایط عملی A_1 (دمای ۵۵ درجه سلسیوس، فشار خلأ ۴۰ کیلو پاسکال و غلظت ۲درصد) بالاترین مقدار را دارا بود ($P<0.0001$). درحالی‌که مقدار CT بزرگ‌تر، نشان‌دهنده زبری و ناصافی بیشتر سطوح است (Rodríguez *et al*., 2013).



(b)، (ب)　　　　(a)، (الف)

شکل ۱- تصاویر میکروسکوپی پودر عصاره برگ کنگر فرنگی در شرایط (الف) A_4 و (ب) A_1 خشک‌کن پاششی خلأیی

Fig.1. SEM images of artichoke leave extract powders in condition of (a) A_4 and (b) A_1 of vacuum spray drying

با توجه به این ویژگی، زمانی‌که قطرات در دمای پایین (۵۵ درجه سلسیوس) و فشار خلأ بالا (۴۰ کیلو پاسکال) خشک می‌شوند نسبت به قطرات خشک‌شده در دمای بالاتر (۷۵ درجه سلسیوس) و فشار خلأ پایین‌تر (۲۰ کیلو پاسکال) چروکیدگی بیشتری دارند. این رفتار می‌تواند با مکانیسم‌های چروکیدگی و تغییر شکل شدیدتر تحت این شرایط فرآیند در ارتباط باشد. دمای پایین‌تر و فشار خلأ بالاتر در فرآیند خشک‌کردن سبب انتشار و پخش آهسته‌تر آب در مواد و فرآیند تغییر شکل چشمگیر در ذرات شد. بنابراین تحت این شرایط، ذرات کوچک‌تر با زبری بیشتر و کرویت کمتری نسبت به دمای بالا و فشار خلأ پایین مشاهده شد. همسان با نتایج این تحقیق (Chanona-Pérez *et al*., 2008) گزارش کردند که دمای خشک‌کردن پایین، ذرات کوچکتری تولید می‌کند که دارای سطحی زبرتر و کرویتی کمتر نسبت به ذرات خشک‌شده در دمای بالا می‌باشد. همان‌گونه که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، اثر زاویه نیز بر روی کنتراست بافت تک ذره پودر عصاره در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد، به‌طوری‌که مقادیر این پارامتر در زاویه‌های ۴۵ و ۱۳۵ درجه نسبت به زاویه‌های صفر و ۹۰ درجه بزرگتر بودند. این پدیده نشان‌دهنده میزان بالاتری از تغییرات محلی در پیکسل‌های مربوط به زوایای ۴۵ و ۱۳۵ درجه با توجه به بافت تک ذره تصویر می‌باشد. در پژوهشی (Rodríguez *et al*., 2013) با تحلیل بافت عصاره وانیل میکروکپسوله شده نتایج مشابهی برای ویژگی‌های بافتی در جهت صفر و ۹۰ درجه حاصل شد که با نتایج این تحقیق همسو هست. تحلیل ویژگی بافتی همبستگی (CR) تصویر تک ذره پودر عصاره تحت تأثیر چهار شرایط مختلف کاری در جهت‌های چهارگانه در سطح ($P<0.0001$) اختلاف معنی‌داری را نشان داد. مطابق جدول ۳ در شرایط خشک‌کن A_4 و A_3 مقدار همبستگی بافت نسبت به سایر شرایط کاری خشک‌کن بزرگ‌تر بود. با توجه به نتایج تحقیق گزارش‌شده توسط Rodríguez و همکاران (۲۰۱۳)، مقدار CR بزرگ‌تر، زبری کمتر و کرویت بیشتری را نشان می‌دهد. ازآنجاکه در شرایط A_4، فرآیند خشک‌کردن در دمای بالا و فشار خلأ پایین اتفاق می‌افتد، گرادیان حرارتی و فشار بیشتری بین محلول اتمیزه و داخل محفظه خشک کن ایجاد می‌شود که منجر به تبخیر سریع تر و در نتیجه مهاجرت اجزای محلول درون پوسته تشکیل شده به سطح قطرات اتمیزه می‌گردد، از این‌رو، تشکیل سریع یک لایه سخت خشک روی سطح قطرات در این شرایط، مانع از چروکیدگی ذرات شده و ذرات با زبری کمتر و همبستگی بیشتر بین سطوح خاکستری پیکسل را تولید می‌کند. مطابق با نتایج این تحقیق، (Alamilla *et al*., 2005) رابطه‌ای خطی و مستقیم بین نرخ تبخیر و خشک‌کردن ذرات با خشک‌کن پاششی و صافی سطوح ذرات گزارش کردند. شرایط A_3 نیز با داشتن غلظت پایین‌تر و سطوح دما و فشار متوسط، زبری کمتر و مقدار CR بزرگ‌تری داشته است. با نظر به این‌که، در غلظت پایین محلول با ثابت بودن میزان ماده (حامل) افزودنی، مقدار ماده افزودنی در نسبت عصاره به افزودنی (لاکتوز) افزایش‌یافته است، درنتیجه با کاهش غلظت محلول میزان لاکتوز در محلول بیشتر شده و سبب زبری کمتر در سطح پودر تولیدشده توسط دستگاه خشک‌کن خلأیی پاششی شده است. ازآنجایی‌که ماده افزودنی به‌عنوان یک ماده تشکیل‌دهنده‌ی پوسته در فرآیند خشک‌کردن ذرات است، بنابراین، ذرات تولیدشده با انواع حامل، شکلی کروی و سطوحی صاف را نشان دادند (Tonon *et al*.,

2011). نتایج مشابهی توسط Tonon و همکاران (۲۰۰۸) در مورد پودرهای میوه توت آسایی یا Acai با افزودنی مالتودکسترین و Gavini و همکاران (۲۰۰۵) در مورد پودرهای عصاره هیدروالکلی برگ کنگر فرنگی تولیدشده از خشک‌کن پاششی با افزودنی‌های لاکتوز و هیپروملوز گزارش شده است. CR با توجه به جهت اندازه‌گیری در زاویه صفر و ۹۰ درجه به دلیل وابستگی بیشتر بین شدت رنگ خاکستری پیکسل‌های تصویر، مقادیر بزرگ‌تری نسبت به زوایای ۴۵ و ۱۳۵ درجه نشان داد. نتایج مشابهی برای اثر زاویه روی ویژگی‌های بافتی GLCM توسط (Alsadegh and Joan, 2012) گزارش شد به‌طوری‌که در زاویه صفر درجه بهترین نتایج برای ویژگی‌های بافتی به‌دست آمد و در سایر جهت‌ها با توجه به نوع بافت متفاوت بود. با توجه به نتایج ارائه‌شده در جدول ۳، در شرایط A_4 پارامتر انرژی (ASM) نسبت به سایر شرایط کاری خشک‌کن به‌طور معنی‌داری بالاتر بود (P<0.001). اثر زاویه بر این پارامتر نیز نزدیک به معنی‌دار شدن بود (P<0.1) که نشان‌دهنده این است که ممکن است انرژی بافت پودر عصاره در زاویه‌های مختلف همسان نباشد. مقادیر بالاتر انرژی نشان‌دهنده توزیع یکنواخت سطوح خاکستری پیکسل‌ها است، لذا در این شرایط، فرآیند تبخیر تسریع یافته و تصاویری با پیکسل‌های همگن و مشابهی از بافت ذرات مشاهده شد. پارامتر همگنی بافت تک ذره پودر عصاره نیز تحت تأثیر چهار شرایط مختلف کاری اختلاف معنی‌داری نشان داد (P<0.001). ویژگی همگنی (IDM) با همگنی محلی پیکسل‌ها در تصویر مرتبط است. مقادیر کم همگنی نشان‌دهنده توزیع نامنظم و ناهمگونی محلی پیکسل‌ها بر روی تصویر است و منجر به زبری و ناصافی بیشتر در سطح ذرات می‌شود. مطابق جدول ۳ پارامتر همگنی در شرایط A_1، به دلیل تبخیر آهسته‌تر و تشکیل ذرات چروکیده و زبر در دمای پایین و فشار خلأ بالا، دارای کمترین مقدار است. مشابه نتایج تحقیق حاضر، (Arzate-Vázquez *et al*., 2012) نشان دادند که ویژگی انرژی و همگنی بافت میکروساختار با استفاده از تحلیل تصاویر میکروسکوپی نتایج مشابهی دارند.

جدول ۳- تحلیل اثر چهار شرایط عملی خشک‌کن خلأیی پاششی و زاویه اندازه‌گیری روی ویژگی‌های بافتی جهت‌دار تک ذره تصاویر پودر عصاره

Table 3-The analysis of the effect of vacuum spray drying conditions and measuring angle on the single-particle directional textural features of powdered extracts images

منبع تغییر Source of variation	ویژگی‌های بافتی Textural features			
شرایط خشک‌کن **Condition of drying**	کنتراست **Contrast**	همبستگی **Correlation**	انرژی **Energy**	همگنی **Homogeneity**
A_1(40kPa, 55°C, 2%)	2.87[a]	0.73[c]	0.12[d]	0.72[b]
A_2(30kPa, 65°C, 2.5%)	1.65[b]	0.85[b]	0.21[c]	0.87[a]
A_3(30kPa, 65°C, 2%)	1.37[b]	0.89[a]	0.29[b]	0.89[a]
A_4(20kPa, 75°C, 3%)	1.05[b]	0.91[a]	0.46[a]	0.88[a]
خطای استاندارد SE	0.21	0.105	0.24	0.0094
زاویه Angle				
Angle 0°	1.37[b]	0.88[a]	0.32[a]	0.86[a]
Angle 45°	2.14[a]	0.81[b]	0.22[b]	0.83[b]
Angle 90°	1.41[b]	0.87[a]	0.27[ab]	0.85[ab]
Angle 135°	2.03[a]	0.82[b]	0.268[ab]	0.836[ab]
خطای استاندارد SE	0.21	0.105	0.24	0.0094
P-Value				
شرایط خشک‌کن Condition of drying	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
زاویه Angle	0.022	<0.0001	0.065	0.055
شرایط ×زاویه Condition×angle	0.94	0.13	0.82	0.95

حرف‌های غیرهمسان در هر بخش از هر ستون نشان‌دهندهٔ اختلاف آماری معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ است.

Means with different letters in each part of columns are significantly different (P<0.05)

جدول ۴ تحلیل اثر شرایط خشک‌کن خلأیی پاششی را بر ویژگی‌های بافتی مستقل از جهت اندازه‌گیری تصویر تک ذره پودر عصاره را نشان می‌دهد. مطابق جدول، توابع rangefilt و stdfilt در شرایط A_1 (دمای ۵۵ درجه سلسیوس، فشار خلأ ۴۰ کیلو پاسکال و

غلظت ۲ درصد) نسبت به سایر شرایط به‌طور معنی‌داری بیشترین مقدار را دارا بودند (P<0.05)، به‌نحوی‌که در این شرایط به‌ترتیب، بازه مقدار شدت خاکستری و درجه تنوع (انحراف استاندارد) مقادیر پیکسل‌ها در همسایگی اطراف یک پیکسل در تصویر، بالا بوده است. این رویداد می‌تواند به دلیل تشکیل پودری با سطح زبر و ناصاف در فرآیند خشک‌کردن با دمای ورودی پایین و فشار خلأ بالا باشد. مقدار glcmstd نیز در شرایط A_4 نسبت به سایر شرایط خشک‌کن به‌طور معنی‌داری بالاتر بود (P<0.05). افزایش مقدار glcmstd بیانگر این است که انحراف استاندارد مقادیر ماتریس هم‌وقوعی سطح خاکستری در همسایگی پیکسل‌ها در شرایط کاری A_4 که نسبت به شرایط A_1 و A_2، سطح دمایی بالاتر و فشار خلأ پایین‌تر و غلظت بیشتری دارد، بالاتر است. نتایج مشابهی توسط (Valipoori Goodarzi *et al.*, 2015) به‌منظور تشخیص تغییرات بافتی سرطان پوست با استفاده از فیلترهای بافت گزارش شد.

جدول ٤- تحلیل اثر چهار شرایط عملی خشک‌کن خلأیی پاششی روی ویژگی‌های بافتی مستقل از جهت تک ذره تصاویر پودر عصاره

Table 4-The analysis of the effect of vacuum spray drying conditions on the single-particle independent of direction textural features of extract powder images

منبع تغییر Source of variation / شرایط خشک‌کن Condition of drying	ویژگی‌های بافتی Textural features: آنتروپی Entropy	Entropy filt	Range filt	Stdfilt	Image-std	GLCMstd
A_1(40kPa, 55°C, 2%)	4.76	3.73[a]	88.847[a]	34.603[a]	83.813	12.33[b]
A_2(30kPa, 65°C, 2.5%)	3.02	2.09[b]	48.543[b]	19.087[b]	84.110	59.05[b]
A_3(30kPa, 65°C, 2%)	3.15	2.03[b]	38.823[b]	15.403[b]	89.910	120.07[ab]
A_4(20kPa, 75°C, 3%)	4.49	2.74[ab]	35.223[b]	13.683[b]	89.453	206.85[a]
خطای استاندارد SE	0.543	0.395	6.92	3.087	5.99	32.36
P-Value	0.11	0.053	0.002	0.005	0.82	0.014

حرف‌های غیرهمسان در هر ستون نشان‌دهندهٔ اختلاف آماری معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ است.

Means with different letters in columns are significantly different (P<0.05)

جدول ۵ اثر چهار شرایط عملی خشک‌کن خلأیی پاششی و زاویه اندازه‌گیری را روی ویژگی‌های بافتی جهت‌دار ذرات توده‌ای تصاویر پودر عصاره نشان می‌دهد. با توجه به جدول، تغییر شرایط کاری خشک‌کن روی ویژگی‌های بافتی جهت‌دار اختلاف معنی‌داری را نشان داد. تغییر زاویه نیز تنها بر روی پارامتر همبستگی بافت پودر عصاره ذرات توده‌ای معنی‌دار شد. مطابق جدول ۵ در شرایط خشک‌کن A_1، مقدار کنتراست (CT) بافت ذرات توده‌ای نسبت به سایر شرایط کاری خشک‌کن بزرگ‌تر بود. با توجه به مطالب ذکرشده روی ویژگی‌های بافتی تک ذره، در شرایط دمای پایین و فشار خلأ بالا منجر به زبری و ناصافی بیشتر سطوح و مقدار بزرگ‌تر کنتراست می‌شود و میزان تغییرات محلی پیکسل‌ها به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد که این نتایج مشابه نتایج گزارش‌شده توسط (Chanona-Pérez *et al.*, 2008) بود. همچنین نتایج ارائه‌شده در جدول ۵ نشان می‌دهد که در شرایط A_4 پارامتر همبستگی نسبت به سایر شرایط کاری خشک‌کن به‌طور معنی‌داری بالاتر بود (P<0.0001). افزایش مقدار همبستگی به تشکیل سریع پوسته سخت در سطح ذرات در دمای تبخیر بالا و فشار خلأ پایین نسبت داده می‌شود، به‌طوری‌که پودری با سطح صاف و نرم را تولید می‌کند (Tonon *et al.*, 2011).

همان‌گونه که در جدول ۵ مشاهده می‌شود، اثر زاویه نیز بر روی همبستگی بافت ذرات توده‌ای پودر عصاره در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد، به‌طوری‌که مقادیر این پارامتر در زاویه‌های صفر و ۹۰ درجه نسبت به زاویه‌های ۴۵ و ۱۳۵ درجه بزرگ‌تر بودند. این پدیده نشان‌دهنده وابستگی بیشتر بین شدت رنگ خاکستری پیکسل‌های تصویر در زوایای ۰ و ۹۰ درجه با توجه به ماهیت بافت ذرات توده‌ای تصویر می‌باشد (Alsadegh and Joan, 2012). پارامتر انرژی بافت ذرات توده‌ای در تصاویر یکنواخت و دارای پیکسل‌های خیلی مشابه، مقادیر بالایی دارد. با توجه به جدول ۵، در شرایط A_4 و A_3 مقدار انرژی بافت نسبت به سایر شرایط کاری خشک‌کن بزرگ‌تر بود (P<0.0001). مطابق نتایج گزارش‌شده توسط (Arzate-Vázquez *et al.*, 2012) مقدار انرژی بزرگ‌تر، همگنی و یکنواختی بیشتر تصویر را نشان می‌دهد. ازآنجاکه در شرایط A_4، فرآیند خشک‌کردن عصاره و تشکیل پودر در دمای بالا و فشار خلأ پایین صورت می‌گیرد، منجر به تبخیر سریع‌تر قطرات و مانع از چروکیدگی ذرات شده و ذراتی با زبری کمتر و همگن‌تر تولید می‌کند.

جدول ۵- تحلیل اثر چهار شرایط عملی خشک‌کن خلأیی پاششی و زاویه اندازه‌گیری روی ویژگی‌های بافتی جهت‌دار ذرات توده‌ای تصاویر پودر عصاره

Table 5- The analysis of the effect of vacuum spray drying conditions and measuring angle on the mass particles directional textural features of powdered extracts images

منبع تغییر Source of variation	ویژگی‌های بافتی Textural features			
شرایط خشک‌کن Condition of drying	کنتراست Contrast	همبستگی Correlation	انرژی Energy	همگنی Homogeneity
A_1(40kPa, 55°C, 2%)	1.028^{a}	0.77^{c}	0.052^{c}	0.69^{c}
A_2(30kPa, 65°C, 2.5%)	0.61^{b}	0.87^{b}	0.069^{b}	0.76^{b}
A_3(30kPa, 65°C, 2%)	0.46^{b}	0.91^{ab}	0.081^{a}	0.80^{ab}
A_4(20kPa, 75°C, 3%)	0.43^{b}	0.93^{a}	0.089^{a}	0.83^{a}
خطای استاندارد SE	0.093	0.014	0.0037	0.017
زاویه Angle				
Angle 0°	0.60	0.89^{a}	0.069	0.80^{a}
Angle 45°	0.64	0.85^{b}	0.069	0.75^{b}
Angle 90°	0.61	0.89^{a}	0.074	0.76^{ab}
Angle 135°	0.68	0.84^{b}	0.079	0.78^{ab}
خطای استاندارد SE	0.093	0.014	0.0037	0.017
P-Value				
شرایط خشک‌کن Condition of drying	0.0003	<0.0001	<0.0001	<0.0001
زاویه Angle	0.93	0.018	0.19	0.149
شرایط ×زاویه Condition×angle	0.99	0.63	0.86	0.95

حرف‌های غیرهمسان در هر بخش از هر ستون نشان‌دهندهٔ اختلاف آماری معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ است.

Means with different letters in each part of columns are significantly different (P<0.05)

مطابق جدول ۵، در حالت‌های آزمایشی A_2 و A_3 با شرایط دما و فشار یکسان، حالت A_3 با داشتن غلظت پایین‌تر، زبری کمتر و مقدار انرژی و یکنواختی بیشتری نسبت به شرایط A_2 داشته است. در واقع با توجه به نسبت عصاره به افزودنی، با کاهش غلظت محلول، میزان ماده افزودنی (لاکتوز) افزایش یافت، بنابراین افزایش غلظت افزودنی سبب تسریع در فرآیند تشکیل پوسته سخت شد در نتیجه تصویر ذرات تولیدشده در این شرایط بافت یکنواخت‌تری دارند. همچنین شرایط A_3 به دلیل داشتن سطح دمایی بالاتر و فشار خلأ پایین‌تر نسبت به شرایط A_1، فرآیند تشکیل پودر عصاره سریعتر اتفاق افتاده و بافت همگن‌تری حاصل می‌شود. پارامتر همگنی که همگنی محلی را نشان می‌دهد، همانند ویژگی انرژی بافت در شرایط A_4 نسبت به سایر شرایط کاری خشک‌کن به‌طور معنی‌داری بیشترین مقدار را دارا بود (P<0.0001). این نتایج با نتایج (Fernández *et al*., 2005; Mendoza *et al*., 2007) مطابقت داشت.

با توجه به تحلیل اثر شرایط خشک‌کن خلأیی پاششی بر ویژگی‌های بافتی مستقل از جهت اندازه‌گیری مربوط به ذرات توده‌ای پودر عصاره در جدول ۶، تنها ویژگی آنتروپی (ET) با تغییر شرایط کاری خشک‌کن اختلاف معنی‌داری را نشان داد (P<0.05). به‌طوری‌که در شرایط A_1 بالاترین مقدار را دارا بود. با توجه به نتایج تحقیق (Arzate-Vázquez *et al*., 2012) تصویر با بافت پیچیده‌تر و زبری بیشتر مقادیر آنتروپی بالایی دارد. از این‌رو، در شرایط A_1 (دمای پایین و فشار خلأ بالا) فرآیند خشک‌کردن به‌گونه‌ای است که منجر به تشکیل پودری با بافت زبر و خشن می‌شود.

نتیجه‌گیری

پردازش تصویر می تواند ابزار کمکی برای درک و توصیف سیستم‌های پیچیده مانند غذا و مواد بیولوژیکی باشد. در این مطالعه روشی مبتنی بر تصویربرداری به‌منظور ارزیابی ویژگی‌های بافتی پودر عصاره برگ کنگر فرنگی در چهار شرایط مختلف خشک‌کن پاششی خلأیی توسعه داده شد.

جدول ٦- تحلیل اثر چهار شرایط عملی خشک‌کن خلأیی پاششی روی ویژگی‌های بافتی مستقل از جهت ذرات توده‌ای تصاویر پودر عصاره

Table 6-The analysis of the effect of vacuum spray drying conditions on the mass particles independent of direction textural features of extract powder images

منبع تغییر **Source of variation**	ویژگی‌های بافتی **Textural features**					
شرایط خشک‌کن Condition of drying	آنتروپی Entropy	Entropy filt	Range filt	Stdfilt	Image-std	GLCMstd
A_1(40kPa, 55°C, 2%)	7.14[a]	5.16	71.8[a]	23.29[a]	61.377	634.3
A_2(30kPa, 65°C, 2.5%)	6.72[ab]	4.9	51.71[ab]	16.38[ab]	58.600	1059.1
A_3(30kPa, 65°C, 2%)	6.51[b]	4.75	46.85[ab]	13.89[ab]	61.707	1096.1
A_4(20kPa, 75°C, 3%)	6.32[b]	4.67	39.83[b]	11.067[b]	57.673	1250.3
خطای استاندارد SE	0.17	0.172	7.64	3.3	2.39	339.2
P-Value	0.04	0.26	0.08	0.13	0.57	0.63

حرف‌های غیرهمسان در هر ستون نشان‌دهندهٔ اختلاف آماری معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ است.

Means with different letters in columns are significantly different (P<0.05)

روش ماتریس هم‌وقوعی سطح خاکستری (GLCM) به‌منظور تحلیل بافت تصاویر میکروسکوپی استفاده شد. پارامترهای بافت موردمطالعه گشتاور زاویه‌ای مرتبه دوم (انرژی)، کنتراست، همبستگی، آنتروپی، گشتاور معکوس (همگنی) و توابع stdfilt ،rangefilt، entropyfilt، image_std، glcmstd بودند. نتایج نشان داد که دمای بالا (۷۵ درجه سلسیوس) و فشار خلأ پایین (۲۰ کیلو پاسکال) در شرایط بهینه به دلیل سرعت تبخیر و خشک شدن بیشتر منجر به تشکیل تعداد بیشتری از ذرات با سطوح صاف شد، درنتیجه در این شرایط، پارامترهای گشتاور زاویه‌ای مرتبه دوم، همبستگی، گشتاور معکوس و glcmstd بیشترین مقدار و مقادیر کنتراست، آنتروپی، rangefilt و stdfilt کمترین مقدار را دارا بودند. بنابراین، پارامترهای کنتراست و آنتروپی در مقایسه با همبستگی، انرژی و همگنی روندی معکوس را نشان دادند. کاهش غلظت محلول نیز منجر به وجود اجزای هیدروفیلی (لاکتوز) بیشتر در ترکیب عصاره با افزودنی شده و درنتیجه ویژگی‌های بافتی پودر عصاره بهبود می‌یابد. پارامتر جهت نیز بر ویژگی‌های بافتی GLCM تأثیر گذاشته بود. دو ویژگی بافتی جهت‌دار (کنتراست و همبستگی) نیز با توجه به ماهیت بافت ذرات در جهات مختلف اندازه گیری تفاوت معنی‌داری را نشان دادند. بنابراین سیستم پردازش تصویر یک راه ساده، سریع و راحت برای تشخیص اطلاعات بافتی پودرهای مواد غذایی و بیولوژیکی فراهم می‌کند. اطلاعات استخراج شده از تجزیه‌وتحلیل بافت تصویر ممکن است اطلاعات مفید و باارزشی را به درک نقش ساختار با توجه به عملکرد محصول ارائه کنند. در نتیجه، این ابزار می‌تواند بهبود فرآیند مواد غذایی را تکمیل کند.

References

1. Aguilera, J. M. 2007. Microstructure and Food Product Engineering. Food Technology 54 (11): 56-65.
2. Alamilla-beltran, L., J. J., Chanona-perez, A. R., Jimenez-aparicio, and G. F., Gutierrez-lopez. 2005. Description of morphological changes of particles along spray drying. Journal of Food Engineering 67: 179-184.
3. Albregtsen, F. 2008. Statistical Texture Measures Computed from Gray Level Coocurrence Matrices. https://pdfs.semanticscholar.org/3253/8c358410ebce7c9ecf688addddf13f45b75b.pdf.
4. Alsadegh Saleh Saied, M., and L. Joan. 2015. Analysis of GLCM Parameters for Textures Classification on UMD Database Images. In: Proceedings of the Fif[th] International Conference on Advanced Communications and Computation. INFOCOMP (2015). IARIA, Brussels, Belgium, 111-116. ISBN 9781612084169.
5. Arzate-Vázquez, I., J. J. Chanona-Pérez, G. Calderón-Domínguez, E. Terres-Rojas, V. Garibay-Febles, A. Martínez-Rivas, and G. F. Gutiérrez-López. 2012. Microstructural characterization of chitosan and alginate films by microscopy techniques and texture image analysis. Carbohydrate Polymers 87 (1): 289-299. http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.07.044.
6. Chanona-Pérez, J., R. Quevedo, A. R. Jiménez Aparicio, C. Gumeta Chávez, J. A. Mendoza Pérez, G. Calderón Domínguez, L. Alamilla-Beltrán, and G. F. Gutiérrez-López. 2008. Image Processing Methods and Fractal Analysis for Quantitative Evaluation of Size, Shape, Structure and Microstructure in Food

Materials. pp 277-286 in G. F. Gutiérrez-López., J. Welti-Chanes and E. Parada-Arias eds. Food Engineering: Integrated Approaches. Springer. México.

7. Chindapan, N., S. Devahastin, and N. Chiewchan. 2010. Effect of electrodialysis pretreatment on physicochemical properties and morphology of spray-dried-fish sauce powder. Journal of Food Engineering 99 (1): 31-39. doi:10.1016/j.jfoodeng.2010.01.027.
8. Fernández, L., C. Castillero, and J. M. Aguilera. 2005. An application of image analysis to dehydration of apple discs. Journal of Food Engineering 67: 185-193.
9. Freitas, S., H. P. Merkle, and B. Gander. 2004. Ultrasonic atomization into reduced pressure atmosphere envisaging aseptic spray-drying for microencapsulation. Journal of Controlled Release 95 (2): 185-195.
10. Gavini, E., M. C. Alamanni, M. Cossu, and P. Giunchedi. 2005. Tabletted microspheres containing Cynara scolymus (var. *Spinoso sardo*) extract for the preparation of controlled release nutraceutical matrices. Journal of Microencapsulation 22 (5): 487-99.
11. Golpour, I., J. Amiri Parian, R. Amiri Chayjan, and J. Khazaei. 2015. Identification of varieties of paddy, brown and white rice based on the texture characteristics and artificial neural network. Journal of Agricultural Machinery 5 (1): 73-81. (In Farsi).
12. Kamruzzaman, M., G. E. Masry, D. W. Sun, and P. Allen. 2012. Prediction of some quality attributes of lamb meat using near-infrared hyperspectral imaging and multivariate analysis. Analytica Chimica Acta 714: 57-67. http://dx.doi.org/10.1016/j.aca.2011.11.037.
13. Kumar, V., S. Sood, and Sh. Mishra. 2008. Introducing Effects in an Image: A MATLAB Approach. Available at: https://hal.inria.fr/inria-00321624.
14. Lattanzio, V., P. A. Kroon, V. Linsalata, and A. Cardinali. 2009. Globe artichoke: A functional food and source of nutraceutical ingredients. Journal of Functional Foods 1: 131-144.
15. Marzi, V., V. Lattanzio, and S. Vanadia. 1975. Il Carciofo Pianta Medicinale. Palo, Bari: Ed. Liantonio.
16. Mendoza, F., P. Dejmek, and J. M. Aguilera. 2007. Colour and image texture analysis in classification of commercial potato chips. Food Research International 40: 1146-1154.
17. Meraz-Torres, L. S., M. X. Quintanilla-Carvajal, D. I. Téllez-Medina, H. Hernández-Sánchez, L. Alamilla-Beltrán, and G. F. Gutiérrez-López. 2011. Water droplet spreading and recoiling upon contact with thick–compact maltodextrin agglomerates. Journal of the Science of Food and Agriculture 91: 2594-2600. Doi: 10.1002/jsfa.4631.
18. Mirarab Razi, S., M. Mohebbi, and A. Alghoone. 2015. Investigation of application image processing in assessing the microstructure of ice cream. Innovative food technologies 8: 49-61
19. Moghimi, A., M. H. Aghkhani, and M. R. Golzarian. 2015. Computer vision algorithms designed to detect sweet pepper for robotic harvesting in natural light conditions. Journal of Agricultural Machinery 5 (1): 82-91. (In Farsi).
20. Mohammadi Moghaddam, T., M. BahramParvar, and S. M. A. Razavi. 2015. Effect of frying temperature and time on image characterizations of pellet snacks. Journal of Food Science and Technology 52 (5): 2958-2965. doi: 10.1007/s13197-014-1326-6.
21. Mohanaiah, P., P. Sathyanarayana, and L. GuruKumar. 2013. Image texture feature extraction using GLCM approach. International Journal of Scientific and Research Publications 3 (5): ISSN 2250-3153.
22. Nikolova, Y., J. Petit, A. Gianfrancesco, C. F. W. Sanders, J. Scher, and C. Gaiani. 2015: Impact of Spray-Drying Process Parameters on Dairy Powder Surface Composition and Properties. Drying Technology: An International Journal, DOI: 10.1080/07373937.2015.1060494.
23. Parker, J. R., and K. Terzidis. 2011. Algorithms for image processing and computer vision, Second Edition, Wiley Publishing, Indianapolis.
24. Quintanilla-Carvajal, M. X., L. S. Meraz-Torres, L. Alamilla-Beltrán, J. J. Chanona-Pérez, E. Terres-Rojas, H. Hernández-Sánchez, A. R. Jimenez-Aparicio, and G. F. Gutiérrez-López. 2011. Morphometric Characterization of Spray-Dried Microcapsules before and After -Tocopherol Extraction. Revista Mexicana de Ingeniería Química 10 (2): 301-312.
25. Rodríguez, S. D., T. F. Wilderjans, N. Sosa, and D. L. Bernik. 2013. Image Texture Analysis and Gas Sensor Array Studies Applied to Vanilla Encapsulation by Octenyl Succinic Anhydride Starches Journal of Food Research 2: 1-13.
26. Sadykhov, A., and S. Kish. 1997. Unique ultrasonic vacuum spray dryer e a new spray drying concept for high quality powder. The second Israel Conference for Conveying and Handling of Particulate Solids, Jerusalem, Isreal.

27. Semyonov, D., O. Ramon, and E. Shimoni. 2011. Using ultrasonic vacuum spray dryer to produce highly viable dry probiotics. Journal of Food Science and Technology 44: 1844-1852.
28. Singh, V., T. N. Singh, and V. Singh. 2010. Image processing applications for customized mining and ore classification. Arabian Journal of Geosciences 4: 1163-1171.
29. Sonnante, G., A. De Paolis, V. Lattanzio, and P. Perrino. 2002. Genetic variation in wild and cultivated artichoke revealed by RAPD markers. Genetic Resources and Crop Evolution 49: 247-252.
30. Tonon, R. V., C. Brabet, and M. D. Hubinger. 2008. Influence of process conditions on the physicochemical properties of acai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced by spray drying. Journal of Food Engineering 88: 411-418.
31. Tonon, R. V., C. R. F. Grosso, and M. D. Hubinger. 2011. Influence of emulsion composition and inlet air temperature on the microencapsulation of flaxseed oil by spray drying, Food Research International 44 (1): 282-289.
32. Tournier, C., M. Grass, D. Zope, C. Salles, and D. Bertrand. 2012. Characterization of bread breakdown during mastication by image texture analysis. Journal of Food Engineering 113 (4): 615-622. http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.07.015.
33. Valipoori Goodarzi, F., J. Haddadnia, and M. Hashemiyan. 2015. Diagnosis of malignant melanoma based on tissue changes in spatial thermography images. Dermatology and Cosmetic 6 (4): 221-226.
34. Williams, A. T., R. J. Wiltshire, and C. M. Thomas. 1998. Sand Grain Analysis, Image Processing, Textural Algorithms and Neural Nets. Computers & Geosciences 24: 111-118.
35. Woo, M. W., A. S. Mujumdar, and W. R. W. Daud. 2010. Spray Drying Technology, pp. 113-156 in W.P. Oliveira, C.R.F. Souza, L.E. Kurozawa, K.L Park eds. Spray Drying of Food and Herbal Products. Published in Singapore.
36. Yu, X., K. Liu, D. Wu, and Y. He. 2012. Raisin quality classification using least squares support vector machine (LSSVM) based on combined color and texture features. Food and Bioprocess Technology 5 (5): 1552-1563. http://dx.doi.org/10.1007/s11947-011-0531-9.
37. Zheng, C., D. W. Sun, and L. Zheng. 2006. Recent applications of image texture for evaluation of food qualities – a review. Trends in Food Science & Technology 17 (3): 113-128. http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2005.11.006.

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 8, No. 2, Fall - Winter 2018, p. 295-308

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۸، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۷، ص ۳۰۸-۲۹۵

Analysis of Microscopic Image Textural Features of Artichoke Leaf Extract Powder Produced from Vacuum Spray Drying

S. Sadeghzade Namavar[1]- J. Amiri Parian[2*]- R. Amiri Chayjan[3]
Received: 16-03-2017
Accepted: 15-10-2017

Introduction

The artichoke is part of the foods from the vegetable group that provide important nutrients like vitamin A and C, potassium and fiber which used as a food and medicine. In the pharmaceutical sector, dried extracts are used in the preparation of pills and capsules. Dried extracts can be prepared from the dehydration of a concentrated extractive solution from herbal materials (leaves, roots, seeds, etc.), resulting in a dried powder. The spray drying is widely used in the preparation of dried powders from extracts of medicinal plants, fruit pulps. One of the newly developed spray drying techniques is an ultrasonic vacuum method, which strengths of spray drying by incorporation of ultrasonic atomizer and vacuum chamber. Nowadays, image processing has been applied to food images, as acquired by different microscopic systems, to obtain numerical data about the morphology and microstructure of the analyzed foods. For this purpose, microscopy and image processing techniques could be considered as proper tools to evaluate qualitatively and quantitatively the food microstructure, making possible to carry out numerical correlations between microstructure data, as obtained from the images, and the textural properties of food powders. The textural characteristics of the obtained dried powders are determined by means of a perfect detection by scanning electron microscopy (SEM) pictures, and analyzed with a statistical approach for image texture studies, which calls the gray level co-occurrence matrix (GLCM) technique. The object of this study was to illustrate the application of image processing to the study of texture properties from extract powder using GLCM texture analysis and some vacuum spray dryer conditions effect on the texture features of mass particles and single particle SEM images.

Materials and Methods

After preparing water extract solution from artichoke leaves, extracts were dried under four conditions of vacuum spray drying (according to Table 1). To study the texture of the obtained dried extract powders, different representative features are extracted from the GLCM matrix. The angular second moment (ASM), which is defined as a measure of the homogeneity of the image, the contrast parameter (CT), which represents the amount of local variations given by differences in the gray values in the image. The correlation value (CR), which is a measure of gray tone linear dependencies in the image depending on the direction of the measure (different θs). The inverse difference moment value (IDM), which, similar to ASM, quantifies the homogeneity of the image, however, using a different equation, the entropy parameter (ET), which is a measure that is inversely related to the order given by the gray tones in the image. Rangefilt and stdfilt calculates the local range and local standard deviation of an image respectively. Entropyfilt calculates the local entropy of a grayscale image also. Parameters (ASM, CT, CR and IDM were analyzed in four directions (0º, 45º, 90º, and 135º).

Results and Discussion

The results of analysis of variance showed that, the difference between the textural features of a single particle and mass particles in four different conditions vacuum spray dryer was significant statistically. Texture analysis was demonstrated that larger ASM, CR, and IDM values indicate less roughness, whereas larger CT and ET values indicate more roughness. At lower inlet temperature and higher vacuum pressure, water diffusion in the material to be slower and allowing the deformation process in the particles to be more pronounced. Consequently, it was possible to observe that generated smaller particles are rougher and less spherical. When the concentration is increased, due to the constant concentration of the additive, the ratio of excipient (lactose) to extraction decreased, as a result were formed a greater number of particles with rougher surfaces. According to these conditions, the values of CT, ET, rangefilt and stdfilt were larger while ASM, CR, and IDM values were

1, 2, 3- PhD Student, Assistant Professor and Associate Professor, respectively, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran
(*- Corresponding Author Email: Amiriparian@gmail.com)

smaller. By analyzing the effect of the angle on the oriented textural characteristics, the contrast and correlation parameter were maximum at the angles of 45 and 135 degrees and 0 and 90 degrees respectively.

Conclusions

Image processing could be auxiliary tools for understanding and characterizing complex systems such as food and biological materials. In this study imaging-based technique was developed to evaluate the texture properties of artichoke leaf extract powder at different conditions of vacuum spray drying. The use of higher temperatures and lower vacuum pressures contributed to faster evaporation rate and production of smoother and larger particles, thereby increasing ASM, CR, and IDM values and reducing CT, ET, Rangefilt and stdfilt. Furthermore, the contrast and entropy parameters showed inverse trends in comparison with correlation, energy and homogeneity. Decrease of solution concentration resulted in the more presence of lactose in the composition of extract/excipient improves the textural properties of powders. The direction parameter had also affected on GLCM textural features. Two oriented textural characteristics (contrast and correlation) also showed significant differences with respect to the nature of particle texture in different directions of measurement. The obtained data extracted from image analysis may provide valuable information to understand the role of structure with respect to product functionality.

Keywords: Artichoke leaves, Extract powder, Grey level co-occurrence matrix, Textural features, Vacuum spray drying